



УДК 629.3.017.5:656.081

- © Є.Ю. Форнальчик, докт. тех. наук, професор,
- © І.А. Могила, аспірант,
- © О.С. Міхоцький, студент (НУ "Львівська політехніка")

## ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ ГАЛЬМ НА ДОВЖИНУ ГАЛЬМІВНОГО ШЛЯХУ

**Анотація.** Проаналізовано температурні режими роботи гальмівних механізмів автобусів, які працюють на міських маршрутах громадського транспорту. На основі полігонних випробувань проведено дослідження гальмівного шляху для заповненого автобуса з холодними та гарячими гальмами. Встановлено, що гальмівний шлях під час екстреного гальмування залежно від швидкості є довшим на 15-28 % для гарячих гальм. Отримані результати можуть бути корисними під час проведення автотехнічних експертиз ДТП.

**Ключові слова:** процес гальмування, гальмівний шлях, температура гальм.

**Аннотация.** Проанализированы температурные режимы работы тормозных механизмов автобусов, которые работают на городских маршрутах общественного транспорта. На основе полигонных испытаний проведены исследования тормозного пути для заполненного автобуса с холодными и горячими тормозами. Установлено, что тормозной путь во время экстренного торможения в зависимости от скорости длиннее на 15-28 % для горячих тормозов. Полученные результаты могут быть полезными при проведении автотехнических экспертиз ДТП.

**Ключевые слова:** процесс торможения, тормозной путь, температура тормозов.

**Abstract.** The temperature conditions of functioning of brake gear of buses which work on urban public transport routes are analyzed. Investigation of the braking distance for the occupied bus with cold and hot brakes was carried out based on ground test. It is determined that braking distance during emergency braking is longer for hot brakes by 15-28 % depending on speed. Gotten results can be used for carrying out of road accident examinations.

**Key words:** braking process, braking distance, temperature of brakes.

### Вступ

Аналіз скоєних дорожно-транспортних пригод (далі – ДТП) показує, що для їх уникнення в 75,9 % випадків використовувались гальмівні системи автомобілів [1]. Тому в більшості випадків під час аналізу ДТП потрібно досліджувати ефективність гальмування транспортних засобів. При цьому основними завданнями щодо оцінювання їхніх гальмівних властивостей є [2]:

– визначення коефіцієнта зчеплення шин з покриттям дороги;

– прогнозування зупинного шляху автомобіля;

– прогнозування величин гальмівних моментів на колесах автомобіля в момент аварійної ситуації;

– оцінювання траєкторії руху автомобіля під час гальмування.

Значну увагу при цьому потрібно приділяти автобусам, зокрема тим, які виконують перевезення на міських маршрутах, оскільки підрозділами ДАІ фіксується не лише зростання кількості



ДТП за участю маршрутних транспортних засобів, а й зростання їх тяжкості [3].

*Аналіз досліджень та публікацій.* Відомо, що автобуси, які працюють на міських маршрутах, мають повторно-короткочасний режим роботи гальм зі значною кількістю гальмувань порівняно невеликої ефективності. При цьому відношення загального гальмівного шляху до довжини обігового рейсу сягає 7 %. Середнє значення сповільнень становить 1,32-1,43 м/с<sup>2</sup>, а кількість екстрених гальмувань (зі сповільненням понад 3 м/с<sup>2</sup>) не перевищує 1 % від загальної кількості гальмувань [4].

Значна кількість гальмувань, які припадають на 1 км шляху, призводить до нагрівання гальмівних механізмів. І хоча відсутні різкі коливання температурних режимів роботи гальм, їх температура поступово зростає і до кінця обігового рейсу стабілізується на рівні 260-280 °С [4]. За таких температур спостерігається різке зниження коефіцієнта тертя, і, відповідно, гальмівного моменту та ефективності гальмування [5].

Нагрів гальмівних механізмів виникає і під час руху в гірській місцевості. Зокрема, середня кількість гальмувань на 1 км шляху становить 2-3, а максимальна досягає 19 [4]. При цьому в багатьох випадках температура поверхонь тертя на початку спуску становить 150-160 °С, а на окремих ділянках — 450-480 °С.

Гальмівні моменти на колесах залежать від низки чинників, зокрема і від типу гальмівної системи. Значна частина сучасних транспортних засобів обладнані антиблокувальними системами. При цьому екстрене гальмування відбувається без блокування коліс, і сліди гальмування відсутні на поверхні дороги, а гальмівний момент постійно змінюється. У роботі [6] запропоновано залежність для визначення зупинкового шляху автомобіля, яка враховує гальмівні моменти на колесах:

$$S_z = v_a(t_1 + t_2 + 0,5t_3) + \frac{\delta G(v_a - 0,5t_3 j_{уст})^2}{2g \left( \sum_{i=1}^n \frac{M_{zi}(1-s_i)}{r_0} + \sum_{i=1}^n G_{ki} f_i (1-s_i) + \frac{1}{3} k F (v_a \pm v_s)^2 + \frac{M_r}{r_0} (1-s_c) + \sum_{i=1}^n R_{zi} \varphi_i s_i \pm G i \right)} \quad (1)$$

де  $v_a$  — швидкість руху транспортного засобу перед гальмуванням;  $t_1$  — тривалість реакції водія;  $t_2$  — тривалість запізнення спрацювання гальмівного приводу;  $t_3$  — тривалість наростання сповільнення, с;  $\delta$  — коефіцієнт, що враховує інерцію оберткових мас автомобіля;  $G$  — вага автомобіля;  $j_{уст}$  — усталене сповільнення під час гальмування;  $M_{zi}$  — гальмівний момент на  $i$ -му колесі автомобіля;  $s_i$  — поздовжнє проковзування на  $i$ -му колесі автомобіля;  $r_0$  — динамічний радіус колеса автомобіля;  $G_{ki}$  — нормальне навантаження на  $i$ -те колесо;

$f_i$  — коефіцієнт опору коченню  $i$ -го колеса;  $k$  — коефіцієнт лобового опору;  $F$  — площа лобового опору автомобіля;  $v_a$  — швидкість вітру;  $M_r$  — середній момент опору в трансмісії;  $s_c$  — усереднене значення поздовжніх проковзувань ведучих коліс автомобіля;  $R_{zi}$  — нормальна реакція на  $i$ -те колесо;  $\varphi_i$  — коефіцієнт поздовжнього зчеплення шини з покриттям для  $i$ -го колеса.

Очевидно, що зменшення коефіцієнта тертя під час нагріву гальм призведе до зменшення гальмівного моменту. Проте значна кількість показників, які входять у формулу (1), зокрема проковзування коліс та динамічний радіус колеса, ускладнюють її практичне застосування під час розслідування обставин ДТП.

На практиці для визначення довжини гальмівного шляху та усталеного сповільнення використовують залежності та рекомендації, наведені у [7]. Проте серед чинників, які впливають на довжину гальмівного шляху, відсутній такий важливий аспект як температура гальм. Окрім того не виявлено досліджень щодо зміни довжини гальмівного шляху залежно від температури гальм. У зв'язку з цим дослідження зміни довжини гальмівного шляху залежно від температури гальмівних механізмів є актуальними.

### Основна частина

*Методика проведення досліджень.* Дослідження гальмівного шляху виконувались на основі полігонних випробувань автобуса категорії МЗ Богдан А-092Н4, який є модифікацією поширеного у системі міських пасажирських перевезень автобуса Богдан А-092 та має низькопідлоговий накопичувальний майданчик. Споряджена маса автобуса становить 5000 кг, повна маса — 8350 кг. Випробування проводились на злітно-посадковій смузі з цементобетонним покриттям. Температура повітря під час досліджень — 8-12 °С, без опадів.

Для вимірювання довжини гальмівного шляху використано вимірювач динамічних характеристик автомобіля Sprint SG-2 (рис. 1), який не потребує підключення до електричної мережі автомобіля. Він встановлювався на підлозі салону автобуса навпроти передніх входних дверей. Прилад містить вбудований акселерометр. За значеннями пришвидшення та сповільнення визначаються швидкість автомобіля та пройдений шлях. Для компенсації похибки вимірювання пришвидшення, зумовленої деформацією підвіски, вводяться коефіцієнти жорсткості підвіски [8].

Перед кожним заїздом на нерухомому автобусі відбувалось калібрування приладу. Далі автобус розганявся для досягнення потрібної швидкості, після чого гальмував. Момент початку гальмування фіксувався приладом автоматично під час появи різкого сповільнення.



а)

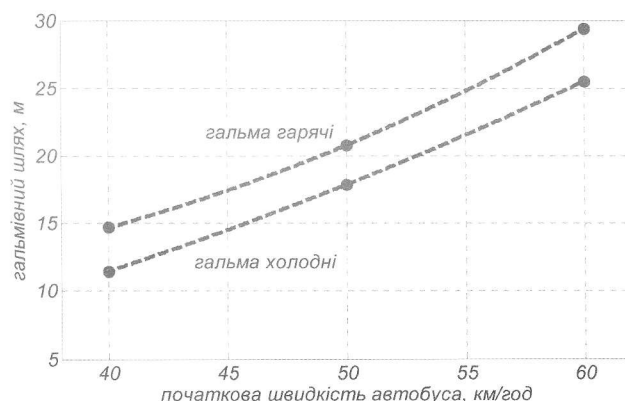


б)

**Рис. 1.** Зовнішній вигляд приладу Sprint SG-2 (а) та розміщення його в салоні автобуса під час випробувань (б)

Під час екстреного гальмування двигун був відключений від трансмісії, водій не впливав на жоден орган керування, окрім педалі гальм, яку він натискав різко з максимально можливим зусиллям. Автобус обладнано антиблокувальною системою, яка під час частини досліджень була у робочому стані (відповідає ситуації екстреного гальмування справного автобуса), а під час додаткових досліджень – вимкненою.

Випробування проводились як для холодних гальм (значні часові інтервали між гальмуваннями), так і для гарячих. Для розігріву гальмівних механізмів використано методику випробувань типу І, передбачених Правилами ЄЕК ООН № 13 (для категорії транспортних засобів М3



**Рис. 2.** Зміна гальмівного шляху автобуса за холодних та гарячих гальм (ступінь заповнення салону автобуса – 100 %, антиблокувальна система працює)

проводиться попередній етап випробувань, який складається з 20 циклів послідовних гальмувань зі швидкості руху 60 км/год до 30 км/год з інтервалом для розгону 60 с) [9]. Кожен дослід повторювався тричі, оскільки у роботі [10] встановлено, що під час дослідження параметрів гальмівних систем стійке значення досліджуваних характеристик досягається за кількості дослідів не менше трьох.

Випробування проводились для заповненого автобуса. Заповнення імітувалось бочками з водою масою по 60 кг та мішками з піском по 10 кг. У дослідженні гальмівного шляху обрано типові швидкості руху автобусів у міських умовах: 40, 50 та 60 км/год. Для кожного з вимірювань

**Таблиця 1**

Результати дослідження довжини гальмівного шляху автобуса за різної початкової швидкості

Варіант гальмування	Довжина гальмівного шляху (м) за початкової швидкості, км/год		
	40	50	60
Гальма холодні	11,47	17,87	25,53
Гальма гарячі	14,70	20,80	29,43
Відносна різниця	28%	16%	15%

**Таблиця 2**

Гальмівний шлях та усталене сповільнення автобуса за початкової швидкості 60 км/год

Параметри, що досліджувались	Варіант гальмування		
	холодні гальма з АБС	гарячі гальма з АБС	без АБС
Гальмівний шлях автобуса, м	25,53	29,43	30,80
Сповільнення автобуса, м/с <sup>2</sup>	6,67	5,83	5,47



фіксувалось значення гальмівного шляху, а також відповідно до Правил ЄЕК ООН № 13 розраховувалось усталене сповільнення за формулою

$$j_{уст} = \frac{v_b^2 - v_e^2}{25,92(s_e - s_b)}, \quad (2)$$

де  $v_b$ ,  $v_e$  — швидкість транспортного засобу відповідно за  $0,8v_0$  та  $0,1v_0$ , км/год;  $s_b$ ,  $s_e$  — відстань, пройдена відповідно між  $v_0$  та  $v_b$ ,  $v_0$  та  $v_e$ , м;  $v_0$  — початкова швидкість транспортного засобу, км/год.

#### Опрацювання та аналіз результатів дослідження

Результати досліджень довжини гальмівного шляху за різної початкової швидкості для холодних та гарячих гальм наведено у **табл. 1** та на **рис. 2** (абсолютна похибка серій результатів вимірювань не перевищує 2,1 м, а відносна є в межах 5-8 %). Вони вказують на те, що температура гальм впливає на довжину гальмівного шляху, причому цей вплив із позицій безпеки руху є доволі відчутним (зростання для гарячих гальм на 3-4 м).

У **табл. 1** також наведено значення відносної різниці між довжинами гальмівних шляхів для холодних і гарячих гальм за однакових початкових швидкостей. Видно, що відносна різниця зменшується зі збільшенням швидкості руху. Це можна пояснити тим, що автобус оснащено АБС, і під час екстреного гальмування колеса не блокуються. Тобто, гальмівні механізми нагріваються та втрачають свою ефективність під час гальмування. Оскільки довжина гальмівного шляху для більшої початкової швидкості є більшою, то гальма нагріваються до вищої температури. В результаті вплив температури гальм на довжину гальмівного шляху є більшим за меншої початкової швидкості: відносна різниця за швидкості 40 км/год — 28 %, а за швидкості 60 км/год — 15 %. Це важливо, оскільки громадський транспорт у містах рухається за середньою технічною швидкістю 30-50 км/год.

Для порівняння було проведено випробування автобуса з вимкненою антиблокувальною системою, коли температура гальм за екстреного гальмування не впливає на довжину гальмівного шляху, оскільки колеса заблоковані (не прокручуються). Проте в цьому разі ефективність гальмування залежить від коефіцієнта зчеплення шин з покриттям та його зміни в результаті нагрівання шини в зоні контакту [7]. Результати досліджень за гальмування зі швидкості 60 км/год для повністю заповненого автобуса з холодними та гарячими гальмами, а також з вимкненою антиблокувальною системою наведено у **табл. 2**.

Видно, що гальмівний шлях за вимкненої антиблокувальної системи є довшим на 1,37 м порівняно з гальмівним шляхом за гарячих гальм. Хоч ця різниця є незначною, з огляду на можливість уникнення ДТП гальмування з гарячими гальмами

в цьому разі є безпечнішим. Крім того транспортний засіб не втрачає керованості, оскільки колеса не блокуються.

#### Висновки

Встановлено, що температура гальмівних механізмів впливає на довжину гальмівного шляху. При цьому за малої початкової швидкості руху температура гальм перед екстремим гальмуванням є важливим чинником, а за збільшення швидкості її вплив зменшується.

Отримані результати можна взяти за основу вдосконалення методики автотехнічної експертизи ДТП. Крім того їх можуть враховувати водії автобусів на міських маршрутах під час вибору безпечної дистанції у щільних транспортних потоках, а також інженери-конструктори гальмівних систем автомобілів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. **Дорожно-транспортні пригоди в Україні** (оперативна інформація за 12 місяців 1996 року) / Управління ДАІ МВС України — К., 1997. — 79 с.
2. **Кашканов А.А.** Оцінка експлуатаційних гальмових властивостей автомобілів в умовах неточності вихідних даних: монографія / А.А. Кашканов, В.М. Ребедаєло, В.А. Кашканов. — Вінниця: ВНТУ, 2010. — 148 с.
3. <http://www.sai.gov.ua/uploads/filemanager/file/dtp2012.pdf>.
4. **Генбом Б.Б.** Вопросы динамики торможения и теории рабочих процессов тормозных систем автомобилей / Б.Б. Генбом, Г.С. Гудз, В.А. Демьянюк и др. — Л.: Вища школа, 1974. — 234 с.
5. **Гудз Г.С.** Тепловий розрахунок автомобільних дискових гальм на типових режимах випробувань: монографія / Г.С. Гудз, М.В. Глобчак, О.Л. Коляса, Я.П. Яворський. — Л.: Ліга-Прес, 2007. — 128 с.
6. **Кашканов В.А.** Удосконалення методу визначення коефіцієнта зчеплення при автотехнічній експертизі ДТП: автореф. дис. ... канд. техн. наук 05.22.20 / Віталій Альбертович Кашканов. — Х., 2008. — 22 с.
7. **Галаса П.В.** Експертний аналіз ДТП: навч. посібник / П.В. Галаса, В.Б. Кисельов, А.С. Куйбіда та ін. — К.: Експерт-сервіс, 1995 — 192 с.
8. <http://www.turbo-garage.com.ua/item.php?category=electronics&part=5>.
9. **Єдині технічні приписи** щодо офіційного затвердження дорожніх транспортних засобів категорій М, N, і О стосовно гальмування: ДСТУ UN/ECE R 13-09-2002 (Правила ЄЕК ООН № 13-09:2000, IDT). — [чинний з 01.01.2003] — К.: Держспоживстандарт України, 2002. — 196 с.
10. **Гудз Г.С.** Техніко-економічна оцінка результатів випробувань I дискових гальм з урахуванням системологічного підходу / Г.С. Гудз, І.Я. Захара // Вісник ХНАДУ. — 2011. — № 53. — С. 45-50.